

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA ENERGETIKY

NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA PRO RODINNÝ
DŮM

PROJECT OF HOUSE HEATING WITH HEAT
PUMP

STUDENT:

PAVEL BUKVA

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

Doc. Ing. MOJMÍR VRTEK, Ph.D.

OSTRAVA 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Bukva**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: **Návrh vytápění rodinného domu pomocí tepelného čerpadla**
Project of House Heating with Heat Pump

Zásady pro vypracování:

Proveďte návrh systému vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem pro rodinný dům obývaný 4 osobami ve vybrané lokalitě.

Práce bude obsahovat:

1. Popis a srovnání základních typů tepelných čerpadel.
2. Stanovení tepelné ztráty domu, potřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé vody.
3. Výběr vhodného tepelného čerpadla a jeho zapojení do otopného systému.
4. Odhad přínosu nasazení TČ z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - schéma systému.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
DVOŘÁK, Z., KLAZAR, L., PETRÁK, J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.
PETRÁK, J., PETRÁK, M. *Tepelná čerpadla*. Praha: ČVUT Praha, 2004. 245 s. ISBN 80-01-03126-8.
TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2014

Bařka

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 23.5.2019

Butkner

podpis

Jméno a příjmení autora práce: PAVEL BUKVA

Adresa trvalého pobytu autora práce: Mezičice 76, Naiklo

Anotace bakalářské práce

BUKVA, P. *Návrh vytápění rodinného domu pomocí tepelného čerpadla*, Ostrava: katedra energetiky-361, 2014, 41 s.

Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing Mojmír Vrtek, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem tepelného čerpadla pro vytápění rodinného domu. Úvod práce jsem věnoval vývoji tepelných čerpadel u nás a popisu základních informací rodinného domu. Další kapitolu jsem věnoval teorii pracujícího tepelného čerpadla, popisu jednotlivých částí, termodynamickým změnám a teoretickému výpočtu spotřeby vzduchu při provozu. Ve třetí kapitole jsou popisovány jednotlivé typy tepelných čerpadel. Následující dvě kapitoly jsou věnovány praktické části práce a to postupu výpočtu tepelných ztrát rodinného domu a jeho návrhu spolu s příslušenstvím. V závěru práce jsou shrnuty náklady na instalaci a její ekonomické návratnosti.

Annotation of Thesis

BUKVA, P. *Project of house heating with heat pump*. Ostrava: department of power Engineering-361 Technical University 2014, 41s.

Diploma thesis supervisor: doc. Ing Mojmír Vrtek, Ph.D.

Home work is dedicated to the development of heat pumps with us and describe the basic information the house. Another chapter is devoted to the theory of operating the heat pump, the description of the individual parts, thermodynamic changes and theoretical calculation of air consumption during operation. In the third chapter describes the different types of heat pumps. The following two chapters are devoted to the practical part and a method to calculate the heat loss of a house and its design along with accessories. The conclusion summarized the cost of installation and its economic returns.

Obsah

Obsah	7
1 Úvod.....	11
1.1 Informace o objektu	11
2 Výpočet tepelných ztrát.....	13
2.1 Použité vzorce	13
2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla.....	15
2.2.1 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla zdí	15
2.2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla stropem	15
2.2.3 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla skleněnou výplní	16
2.2.4 Výpočet základní tepelné ztráty prostupem tepla	16
2.2.5 Průměrný součinitel prostupu tepla ochlazovanými konstrukcemi	16
2.2.6 Výpočet tepelné ztráty místnosti prostupem tepla Q_p	16
2.3 Výpočet tepelné ztráty prostoru větráním.....	17
2.3.1 Objemový tok větracího vzduchu prostoru z hygienických nebo technických požadavků.....	17
2.3.2 Objemový tok vzduchu přirozeným větráním	17
2.3.3 Tepelná ztráta prostoru výměnou vzduchu	17
2.4 Celková tepelná ztráta místnosti	17
2.5 Celková tepelná ztráta domu.....	17
3 Typy tepelných čerpadel	18
3.1 Princip tepelného čerpadla	18
3.2 Vzduch - voda	19
3.3 Země – voda.....	20
3.4 Voda – voda	22
3.5 Vzduch - vzduch	24

3.6	Tepelná čerpadla s přímým odběrem tepla	24
4	Teorie tepelného čerpadla	26
4.1	Části tepelného čerpadla	26
4.2	Termodynamické změny v oběhu TČ	27
4.3	Objem vzduchu pro vytápění	28
5	Návrh tepelného čerpadla	31
5.1	Určení bodu bivalence	31
5.2	Energetická bilance TČ	33
5.3	Systém topného okruhu	34
5.3.1	Tepelné čerpadlo	34
5.3.2	Akumulační nádrž	35
5.3.3	Ohřev TV	36
5.3.4	Regulace	36
6	Ekonomické a environmentální zhodnocení	38
7	Závěr	40
8	Citovaná literatura	41

Seznam použitých zkratek

Značka	Název	Jednotka
\dot{Q}_c	celková tepelná ztráta	[W]
\dot{Q}_m	tepelná ztráta prostupem zdí	[W]
\dot{Q}_v	tepelná ztráta větráním/dle hygienických požadavků	[W]
\dot{Q}_{mc}	celková tepelná ztráta místnosti	[W]
\dot{Q}_o	tepelná ztráta prostupem skleněnou výplní	[W]
\dot{Q}_v	tepelná ztráta prostoru větráním	[W]
Q_{BZ}	teplo dodané bivalentním zdrojem	[kWh]
$Q_{T\check{c}}$	teplo dodané tepelným čerpadlem	[kWh]
Q_D	teplo dodané oběma zdroji v příslušné teplotě	[kWh]
Q_{DBZ}	teplo dodané bivalentním zdrojem	[kWh]
Q_{CD}	teplo dodané během celého roku	[kWh]
$P_{el,c}$	celkový elektrický příkon	[kW]
$P_{T\check{c}}$	elektrický příkon tepelného čerpadla	[kW]
P_{BZ}	elektrický příkon bivalentního zdroje	[kW]
\check{C}_h	četnost hodiny	[–]
TZ	tepelná ztráta objektu	[kW]
S_n	plocha	[m ²]
\dot{V}_v	objemový tok větracího vzduchu	[m ³ .s ⁻¹]
\dot{V}_{vH}	průtok větracího vzduchu – hygienické hledisko	[m ³ .s ⁻¹]
\dot{V}_{vp}	průtok větracího vzduchu – přirozeným větráním	[m ³ .s ⁻¹]
L	délka spar otevíratelných oken	[m]
B	charakteristické číslo budovy	[Pa ^{0,67}]
M	charakteristické číslo místnosti	[–]
PC	pořizovací cena	[Kč]

NI	návratnost investice	[rok]
$N_{T\check{C}}$	náklady na vytápění tepelným čerpadlem	[Kč]
$U_{RO\check{C}N\acute{I}}$	roční úspora	[Kč]
$C_{T\check{C}}$	cena elektřiny při vytápění TČ	[Kč]
$Q_{ro\check{c}n\acute{i}}$	celoroční spotřeba	[kWh]
N_{plyn}	náklady na vytápění plynem	[Kč]
V	objemový tok vzduchu	[m ³ .s ⁻¹]
S_v	plocha ventilátoru	[m ²]
P_{el}	elektrický příkon	[kWh]
Q_{in}	energie získaná z okolního vzduchu	[kW]
n_h	požadovaná intenzita průtoku vzduchu	[h ⁻¹]
i_{LV}	součinitel spárové průvzdušnosti	[m ³ .s ⁻¹ .Pa ^{-0,67}]
v	rychlost vzduchu proudícího ventilátorem	[m.s ⁻¹]
c	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹]
\dot{m}	hmotnostní tok vzduchu	[Kg.s ⁻¹]
p_1	přirážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí	[-]
p_2	přirážka na urychlení zátoku	[-]
p_3	přirážka na světovou stranu	[-]
k_n	součinitel prostupu tepla	[W/(m ² .K)]
t_i	výpočtová vnitřní teplota	[°C]
t_{en}	výpočtová venkovní teplota	[°C]
l_i	tloušťka materiálových vrstev	[m]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
α_i	součinitel přestupu	[W/(m ² .K)]
λ_i	součinitel tepelné vodivosti	[W/(m ² .K)]

1 Úvod

Rostoucí ceny energií, snaha o zlepšování životního prostředí nebo efektivnější využívání energetických zdrojů mohou být důvody pro neustálé zlepšování a vyvíjení nových technologií a úspornějších opatření pro vytápění. Jedním z řešení dnes mohou být tepelná čerpadla, která jsou v posledních letech stále častěji využívána pro vytápění a ohřev teplé vody.

Tepelná čerpadla využívají energii dostupnou všude kolem nás a s pomocí fyzikálních zákonů dokáží tuto energii využít pro ohřev a vytápění. S prvotní myšlenkou principu fungování přišel už Lord Kelvin roku 1852, kterou specifikoval ve své druhé větě termodynamické, kde uvedl, že teplo se šíří vždy ve směru od teplejšího ke studenějšímu. První tepelné čerpadlo však náhodou sestrojil americký vynálezce Robert C. Weber. Při pokusech s nízkými teplotami se omylem dotknul výstupního potrubí mrazicího stroje a to jej popálilo. Skutečnost jej přivedla k pokusům ohřevu vody pomocí chladírenských zařízení. Dnes již technologie pokročily na tolik, že můžeme s tímto zařízením primárně ekonomicky vytápět a nepotřebujeme k tomu ani chladírenské zařízení.

1.1 Informace o objektu

Jmenovaný dům se nachází na Moravě v Olomouckém okrese. Pro tuto lokalitu je stanovena venkovní výpočtová teplota -15°C . Dům je po rekonstrukci a majitel požaduje výměnu stávajícího vytápění za vytápění tepelným čerpadlem, které je z ekonomického hlediska efektivnější. Cílem této práce bude stanovit tepelné ztráty domu po zateplení dle ČSN 06 0210 tzv. obálkovou metodou. Při výpočtu nejsou zohledňovány tepelné zisky, jelikož ty se z větší části znehodnocují větráním.

Protože se jedná o zrekonstruovaný dům, jsou zde použity běžné materiály pro zateplení. Dům je stavěný z obyčejných kvádrových pálených cihel spojených maltou a zateplený pěnovým expandovaným polystyrenem s šířkou 150 [mm]. Vyměněny byly také okna za plastová s tepelným odporem $3[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$. Zateplením a výměnou oken bylo dosaženo snížení tepelné ztráty z 36,5 [Kw] na 11 [kW]. Pro lepší účinnost tepelného čerpadla bylo při rekonstrukci zavedeno podlahové vytápění s teplotou topné vody 35°C . Požadavkem zadavatele byl i ohřev teplé vody tepelným čerpadlem. Za tímto účelem byl navržen nepřímotopný ohřívač TV s osazenou elektrickou topnou spirálou. Do topného okruhu byla také zapojena akumulární nádrž topné vody kvůli snižování počtu startů tepelného čerpadla a tím zvyšování životnosti kompresoru, viz. schéma topného okruhu.

- Zastavěná plocha 72,66 [m^2]
- Počet podlaží 2 [–]
- Počet obytných místností 5 [–]
- Plocha všech oken 12,65 [m^2]

Skladbu zdi se součiniteli přestupu a prostupu tepla jsou uvedeny v následující tabulce, zbylé součinitele prostupu tepla skleněnou výplní a stropem jsou uvedeny v postupu výpočtu.

vzduch	polystyren	lepidlo	cihla	malta	cihla	omítka	vzduch
α_1	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	α_2
5	0,07	0,4	0,55	0,35	0,55	0,4	2

2 Výpočet tepelných ztrát

- Tepelné ztráty je nutné počítat kvůli návrhu a dimenzování otopné soustavy. V dnešní době je třeba znát tepelné ztráty i kvůli energetickým štítkům.

2.1 Použité vzorce

Výpočet celkové tepelné ztráty

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_p + \dot{Q}_v - \dot{Q}_z \quad (1)$$

\dot{Q}_p - tepelná ztráta prostupem

\dot{Q}_v - tepelná ztráta větráním

\dot{Q}_z - trvalý tepelný zisk

Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (2)$$

\dot{Q}_o -základní tepelná ztráta prostupem tepla

p_1 - přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

p_2 - přírážka na urychlení zátoku

p_3 - přírážka na světovou stranu

$$\dot{Q}_o = k_1 \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 \cdot (t_i - t_{e2}) + \dots + k_n \cdot S_n \cdot (t_i - t_{en}) = \sum_{i=1}^{j=n} k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_{ej}) \quad (3)$$

$S_1, S_2 \dots S_n$ - ochlazovaná část stavební konstrukce

$k_1, k_2 \dots k_n$ - součinitel prostupu tepla

t_1 - výpočtová vnitřní teplota

$t_{e1}, t_{e2} \dots t_{en}$ - výpočtová vnější teplota

Součinitel prostupu tepla

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4)$$

α_1 - součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

α_2 - součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce

l_i - tloušťka i-té materiálové vrstvy

λ_i - tepelná vodivost i-té materiálové vrstvy

přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad (5)$$

Průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcemi

$$k_c = \frac{\dot{Q}_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} \quad (6)$$

$\sum S$ - celková plocha všech konstrukcí ohraničující vytápěnou místnost

t_i - výpočtová vnitřní teplota

t_e - výpočtová vnější teplota

Tepelná ztráta prostoru větráním

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_v \cdot (t_i - t_e) \quad (7)$$

\dot{V}_v - objemový tok větracího vzduchu

t_i - výpočtová vnitřní teplota

t_e - výpočtová vnější teplota

Objemový tok větracího vzduchu prostoru z hygienických nebo technických požadavků

$$\dot{V}_{vH} = \frac{n_H}{3600} \cdot V_m \quad (8)$$

V_m - vnitřní objem prostoru

n_h - intenzita výměny vzduchu [h^{-1}]

Objemový tok vzduchu přirozeným větráním

$$\dot{V}_{vp} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad (9)$$

$\sum (i_{LV} \cdot L)$ - součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti

i_{LV} - součinitel spárové průvzdušnosti

L - délka spar otvíratelných částí oken a venkovních dveří

B – charakteristické číslo budovy

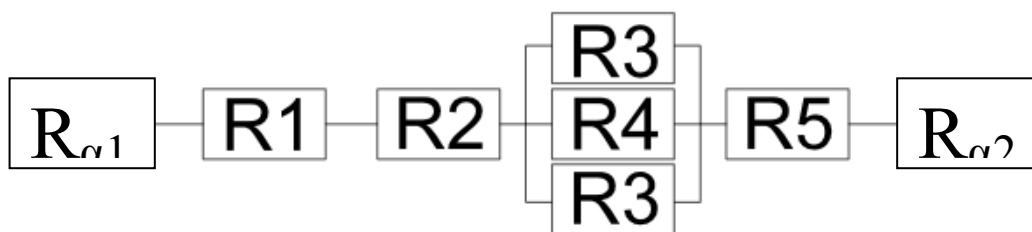
M – charakteristické číslo místnosti

2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla

- Ukázkový výpočet provedeme na pokoji č. 201, kde nejprve určíme součinitele prostupu tepla zdí, stropem a prosklenou plochou.
- Ve druhém kroku můžeme po dosazení do vzorce č. 3 vypočítat tepelnou ztrátu dané plochy.
- Ve třetím kroku vypočítáme tepelnou ztrátu prostupem tepla dané místnosti dosazením do vzorce č. 2.

2.2.1 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla zdí

- Tepelná ztráta prostupem neboli tepelný odpor jsou analogií pro elektrický odpor.



Obrázek 1: Skladba tepelných odporů při prostupu tepla zdí

$$k_z = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i \cdot S_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1}} +$$
$$\dot{Q}_{z201} = k_{201} \cdot S_{201} \cdot (t_{201} - t_e) = 0,24 \cdot 19,26 \cdot [20 - (-15)] = 158,3 [W]$$

2.2.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla stropem

- Dle normy ČSN 73 0540 -2:2002 je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla stropem, pod nevytápěnou půdou a střechou, bez tepelné izolace stanoven na hodnotu $k_{strop} = 0,2 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$. Teplota půdního prostoru je stanovena dle normy ČSN 06 0210 (tabulka A. 2), kde pro výpočtovou venkovní teplotu $t_e = -15[^\circ C]$ a podstřešní prostory s netěsnou krytinou je hodnota $t_{ie} = -6[^\circ C]$

$$\dot{Q}_{s201} = k_{201} \cdot S_{201} \cdot (t_{201} - t_{ie}) = 0,2 \cdot 18,4 \cdot [20 - (-6)] = 95,7 [W]$$

2.2.3 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla skleněnou výplní

- Součinitel prostupu tepla prosklenou plochou s izolačním dvojsklem bez selektivní vrstvy udává výrobce $k_o = 1,9[W.m^{-2}.K^{-1}]$

$$\dot{Q}_{o201} = k_{201} \cdot S_{201} \cdot (t_{201} - t_e) = 1,9 \cdot 2,45 \cdot [20 - (-15)] = \mathbf{163 [W]}$$

2.2.4 Výpočet základní tepelné ztráty prostupem tepla

- Pro zjištění základní tepelné ztráty dané místnosti je potřeba tepelné ztráty sečíst dle vzorce č. 3.

$$\dot{Q}_o = \sum_{i=1} Q_i$$

$$\dot{Q}_{m201} = \dot{Q}_{z201} + \dot{Q}_{s201} + \dot{Q}_{o201} = 158,3 + 95,7 + 163 = \mathbf{417 [W]}$$

2.2.5 Průměrný součinitel prostupu tepla ochlazovanými konstrukcemi

$$k_c = \frac{\dot{Q}_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} = \frac{417}{40,114 \cdot [20 - (-15)]} \doteq 0,3[W.m^{-2}.K^{-1}]$$

2.2.6 Výpočet tepelné ztráty místnosti prostupem tepla Q_p

$$\dot{Q}_{p201} = \dot{Q}_{o201} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)$$

- Kvůli dostatečnému dimenzování tepelné ztráty místnosti musíme k základní tepelné ztrátě určit přírážky p_1, p_2, p_3
- Přírážka p_1 je pro vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí a závisí na průměrném součiniteli prostupu tepla všech konstrukčních místností, který vypočítáme ze vztahu (6).

$$k_c = \frac{\dot{Q}_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} = \frac{417}{19,264 \cdot [20 - (-15)]} = \mathbf{0,619[W.m^{-2}.K^{-1}]}$$

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c = 0,15 \cdot 0,619 = \mathbf{0,093 [-]}$$

- S přírážkou na urychlení zátopu p_2 počítáme pouze v případech, kdy ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění. V našem případě s přírážkou p_2 nepočítáme, jelikož v rodinném domku lze nepřetržitě vytápění zajistit, tedy $p_2=0$
- Přírážku p_3 určujeme podle nejvíce ochlazované stavební konstrukce, tedy podle světových stran. Ochlazované stěny pokoje č. 201 jsou orientovány na jižní stranu, přírážka p_3 je v tomto případě dle normy ČSN 06 0210 rovna $p_3 = -0,05[-]$.

$$\dot{Q}_{p201} = \dot{Q}_{o201} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 417(1 + 0,093 - 0,05) = \mathbf{434,9 [W]}$$

2.3 Výpočet tepelné ztráty prostoru větráním

- Ke ztrátám prostupem tepla musíme přičíst ještě ztráty výměnou vzduchu v místnosti.
- Objemový tok větracího vzduchu počítáme podle dvou hledisek, hygienického nebo přirozeným větráním v místnosti. Hygienické hledisko si žádá za hodinu vyměnit polovinu objemu vzduchu v místnosti. Za to objemový tok vzduchu větráním je závislý na charakteristických číslech B, M, velikosti oken a jejich součiniteli průvzdušnosti. Charakteristické číslo B závisí na rychlosti větru volené podle polohy budovy vzhledem ke krajině. Naše budova odpovídá kritériu řadové budovy s nechráněnou normální krajinou, čemuž dle normy ČSN 060210 odpovídá $B = 9[Pa^{0,67}]$. Druhé číslo charakterizuje průvzdušnost oken dané místnosti, kde naše budova odpovídá $M = 0,7[-]$.

2.3.1 Objemový tok větracího vzduchu prostoru z hygienických nebo technických požadavků

$$\dot{V}_{vH} = \frac{n_H}{3600} \cdot V_m = \frac{0,5}{3600} 41,216 = 0,0057 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

2.3.2 Objemový tok vzduchu přirozeným větráním

$$\dot{V}_{vp} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = (0,00019,8,24) \cdot 9 \cdot 1 = 0,014 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

2.3.3 Tepelná ztráta prostoru výměnou vzduchu

$$\dot{Q}_{v201} = 1300 \cdot \dot{V}_v \cdot (t_i - t_e) = 1300 \cdot 0,014 \cdot (20 - (-15)) = 637 [W]$$

2.4 Celková tepelná ztráta místnosti

$$\dot{Q}_{mc201} = \dot{Q}_{p201} + \dot{Q}_{v201} = 434,9 + 637 = 1071,9 [Wh] \doteq \mathbf{1,1[kWh]}$$

2.5 Celková tepelná ztráta domu

- Celková tepelná ztráta domu se stanoví pouhým sečtením ztrát všech místností

$$Q_c = \sum_{i=1} Q_{ci} = \mathbf{13,5 [kW]}$$

3 Typy tepelných čerpadel

Tepelné čerpadlo využívá nízkopotenciální energii, které je kolem nás obrovské množství. K využití zařízení pro vytápění domu nebo ohřevu TV je potřeba tuto energii transformovat na vyšší energetickou úroveň. K transformování energie média na vyšší úroveň je zapotřebí určitou část energie dodat. TČ tedy energii nevyrábí, ale pouze přečerpává na vyšší teplotní úroveň, mluvíme tedy o alternativně obnovitelném zdroji energie. energii, kterou tepelné čerpadlo zpracovává, nazýváme obnovitelnou. Využívá proto energetický potenciál slunce v podobě ohřátého venkovního vzduchu, jako akumulovanou do povrchové zeminy. Dále ještě TČ může využívat tepelnou energii vody a to i podzemní nebo geotermální energii země. V poslední době se začíná využívat i odpadního tepla z budov a za pomoci rekuperace odnímat teplo, které je možno následně zpracovávat za pomoci TČ. Zdroje tepla využitelné pro tepelné čerpadlo budou popsány v následující kapitole.

3.1 Princip tepelného čerpadla

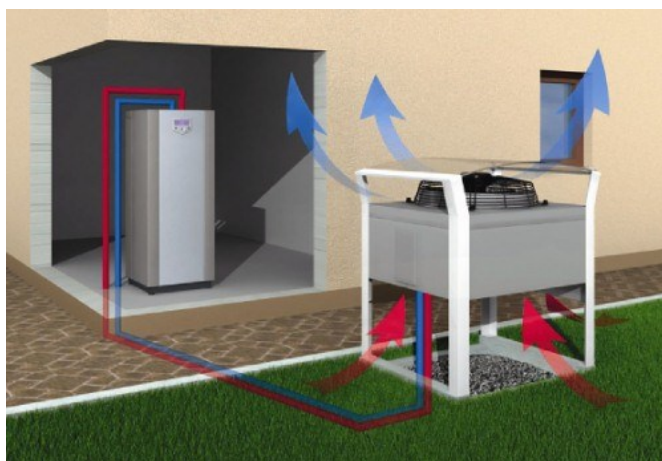
Na tzv. primární straně TČ, je vždy výměník tepla nazývaný výparník. Pomocí vhodného teplotnosného média (vzduch, voda, nemrznoucí směs) přivádí nízkopotenciální teplo zvenku a do jeho druhé poloviny se tryskou termostatického expanzního ventilu (TEV) vstříkují pod velkým tlakem kapalné chladivo. Tlak ve výparníku za TEV je nižší a kapalné chladivo se proto rychle odpařuje. Tím se celý výparník podchlazuje na teplotu nižší než teplota prostředí, ze kterého se odebírá teplo. Tak je dosaženo toho, že teplo ze studené strany ohřívá podchlazený plyn a tento ohřátý, ale ještě stále studený plyn je nasáván kompresorem. Tady samozřejmě platí druhá věta termodynamického zákona. Nasávaný plyn si s sebou nese z venku získanou energii, přidá další část energie ve formě ztrátového tepla z elektromotoru kompresoru a tepla vzniklého třením jeho pohyblivých ploch. Stlačený plyn na výtlaku kompresoru dosáhne vyšší teploty než voda v topném systému a je veden do sekundárního výměníku, tzv. kondenzátoru, kterým otopná voda proudí. Tam horký plyn zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě. I tady platí druhá věta termodynamického zákona. Kapalina je zase vedena do TEV a celý cyklus se stále opakuje.

3.2 Vzduch - voda

Tepelné čerpadlo typu vzduch voda skrývá mnoho výhod spojené se snadnou instalací a díky tomu velké univerzálnosti použití. Tepelné čerpadlo tohoto typu můžeme snadno použít téměř na každou stavbu a díky snadné instalaci odpadají náklady spojené se

zemními pracemi, které tvoří podstatnou část investice. Protikladem snadné instalace je nevýhoda kolísání výkonu v závislosti na proměnné venkovní teplotě. Roste-li teplota venkovního vzduchu, roste i výkon tepelného čerpadla a naopak klesá-li teplota venkovního vzduchu, klesá i výkon tepelného čerpadla. Z tohoto důvodu jsou tepelná čerpadla typu vzduch - voda nejčastěji provozována v bivalentním provozu. To znamená, že pod bodem bivalence, za který se považuje teplota venkovního vzduchu okolo -3°C , musíme tepelné čerpadlo doplnit jiným zdrojem tepla a tepelnou pohodu tak zajistit oběma zdroji současně. Minimální teplota, při které je tepelné čerpadlo schopno dlouhodobě pracovat je -20°C . Nárazově dokáže využít topné médium o teplotě -25°C .

Tepelná čerpadla typu vzduch – voda jsou dvojího provedení. Dělené tepelné čerpadlo se skládá ze dvou jednotek a to venkovní a vnitřní. Venkovní část je nejlépe umístit na jižní stranu domu nebo na střechu. Venkovní jednotka slouží k nasávání vzduchu. Druhá varianta je kompletně umístěna venku a do domu přivádíme pouze topnou vodu. Množství protékajícího vzduchu se uvádí v tisících m^3/h , což způsobuje nežádoucí hluk. S ohledem na okolní prostředí musíme tepelné čerpadlo vhodně umístit. U kvalitních vzduchových čerpadel se hodnota akustického tlaku ve vzdálenosti 5m od venkovní jednotky pohybuje pod hodnotou 40dB, což se dá přirovnat např. k tikotu budíku



vzdáleného 2m.

Obrázek 2: TČ vzduch – voda

Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/4406-proc-zvolit-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>

Výhody: nižší pořizovací náklady (rychlejší návratnost investice) (1)

Jednoduchá instalace

Nejsou nutné zemní práce, nezabírá místo na pozemku

Zápory: nižší účinnost při silných mrazech

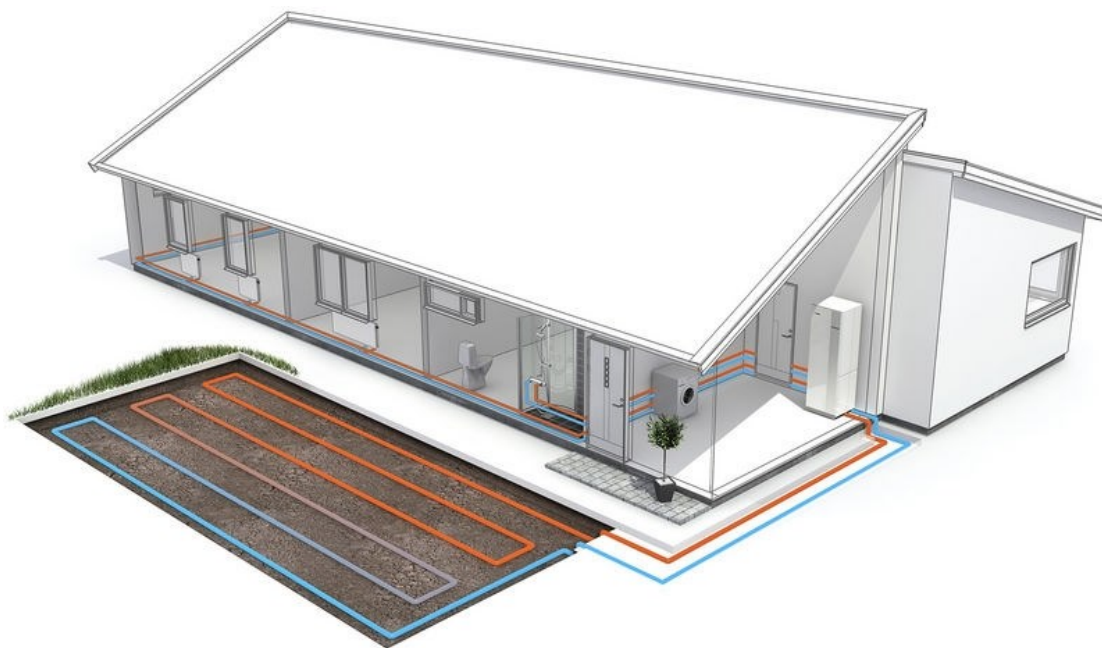
Vyšší provozní náklady oproti jiným tepelným čerpadlům

Kolísání výkonu v závislosti na teplotě

Hlučnost

3.3 Země – voda

Tepelná čerpadla v provedení země-voda můžeme označit jako nejstabilnější. Zdrojem tepla je v tomto případě geotermální energie, která je vůči venkovním klimatickým podmínkám velmi stabilní. Stejně jako ostatní druhy tepelných čerpadel je i tento typ nejčastěji provozován v bivalentním provozu, tedy při nízkých venkovních teplotách je doplňován o přídatná zařízení. Geotermální energii můžeme čerpat zemními kolektory, což je často považováno za nevýhodu. Zemní práce spojené s uložením zemního kolektoru značně zvyšují cenu tepelného čerpadla. Zemní kolektory máme ve dvojím provedení, a to horizontální nebo vertikální. Prvně zmiňovaný typ kolektoru vyžaduje dlouhé výkopy a rozsáhlý pozemek. Finančně však vychází instalace lépe oproti hlubokým zemním vrtům. Podmínky pro stanovení druhu zemního kolektoru vychází spíše z geologických dispozic a umístěním objektu na pozemku. Výhodou je, že geotermální energii můžeme využívat během celého roku a to i v letních měsících pro ohřev vody. Tepelná čerpadla typu země-voda poskytují stabilní výkon a slušnou účinnost. S tím je spojená úspora až 70%, které je možno dosáhnout oproti nákladům na provoz tradičního vytápění. Stabilní primární teplota se projevuje na dlouhé životnosti systému a možnosti využívat tepelné čerpadlo bez vlivu kolísání venkovních teplot na jeho účinnost.



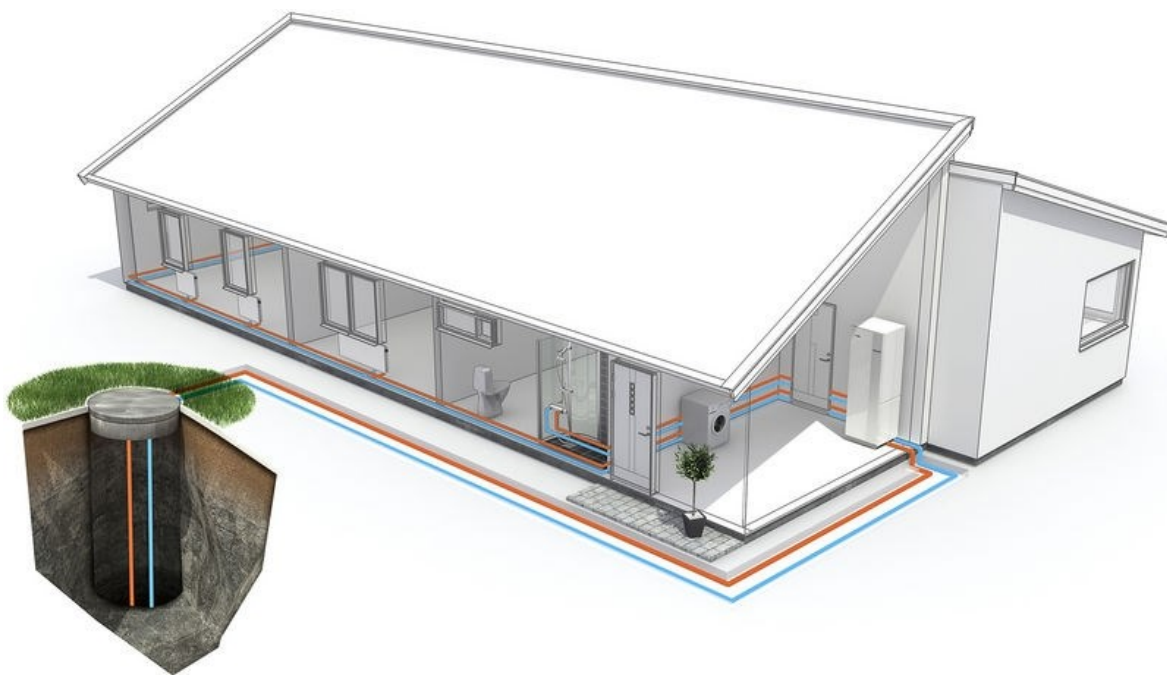
Obrázek 3: TČ země – voda s horizontálním kolektorem

Zdroj: <http://www.nibe.cz/cs/grafika>

- Výhody:** únosná cena plošného kolektoru pro běžného uživatele
- Nízké provozní náklady
 - Nevyčerpatelný zdroj tepla při správném dimenzování
 - Pro plošný kolektor není potřeba povolení pro hlubinné vrtání
- Zápory:** potřeba poměrně velké plochy pozemku
- V budoucnu není možné pozemek využít pro stavební činnost
 - Při nedostatečném dimenzování ovlivňuje vegetaci

(1)

Podloží musí mít vhodné podmínky (nelze použít vždy)



Obrázek 4: TČ země - voda s vertikálním kolektorem

Zdroj: <http://www.nibe.cz/cs/grafika>

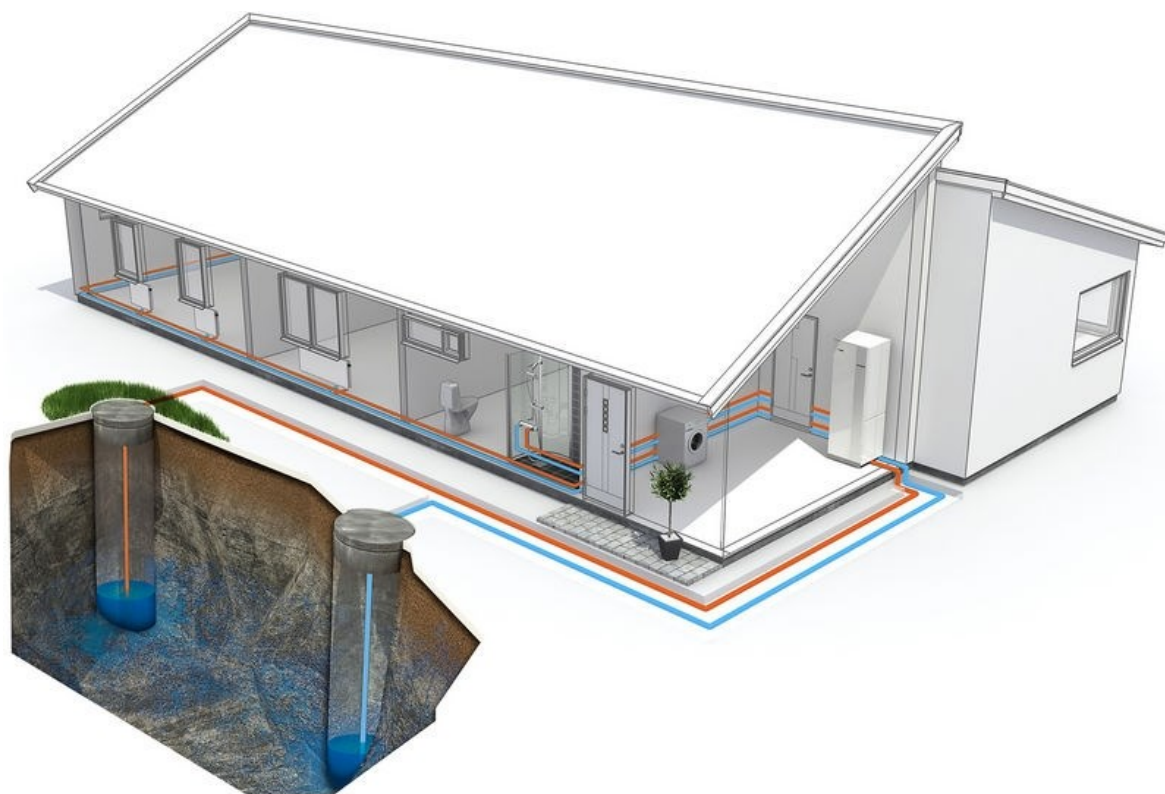
Výhody: Nenáročné na plochu
Nízké provozní náklady
Stabilní výkon TČ

Zápory: Velmi nákladné řešení
Potřeba příslušných povolení
Náročná instalace

3.4 Voda – voda

Systém typu voda-voda dosahuje nejvyššího tepelného faktoru. Bohužel míst pro instalaci je málo. Teplo pro ohřev můžeme získávat jak z podpovrchových toků, tak i povrchových. Problémem je vydatnost toků, kdy literatura uvádí až 0,5 l/s, což je potřeba ověřit dlouhodobými čerpacími zkouškami. Při řešení s podpovrchovou vodou je zapotřebí dvou studní vzdálených od sebe cca 15m, přičemž jedné říkáme zdrojová a druhé vsakovací. Dále musíme mít na mysli, že podzemní tok musí mít dostatečnou rezervu,

abychom zamezili tzv. vyschnutí studny. Využívání povrchových zdrojů je spojeno s náročnou administrativou správy toku a především souhlasu majitele.



Obrázek 5: TČ voda - voda s odběrem podzemní vody

Zdroj: <http://www.nibe.cz/cs/grafika>

Výhody: Nízké pořizovací náklady

Stabilní výkon čerpadla

Vysoký topný faktor

Zápory: Velká vydatnost pramene

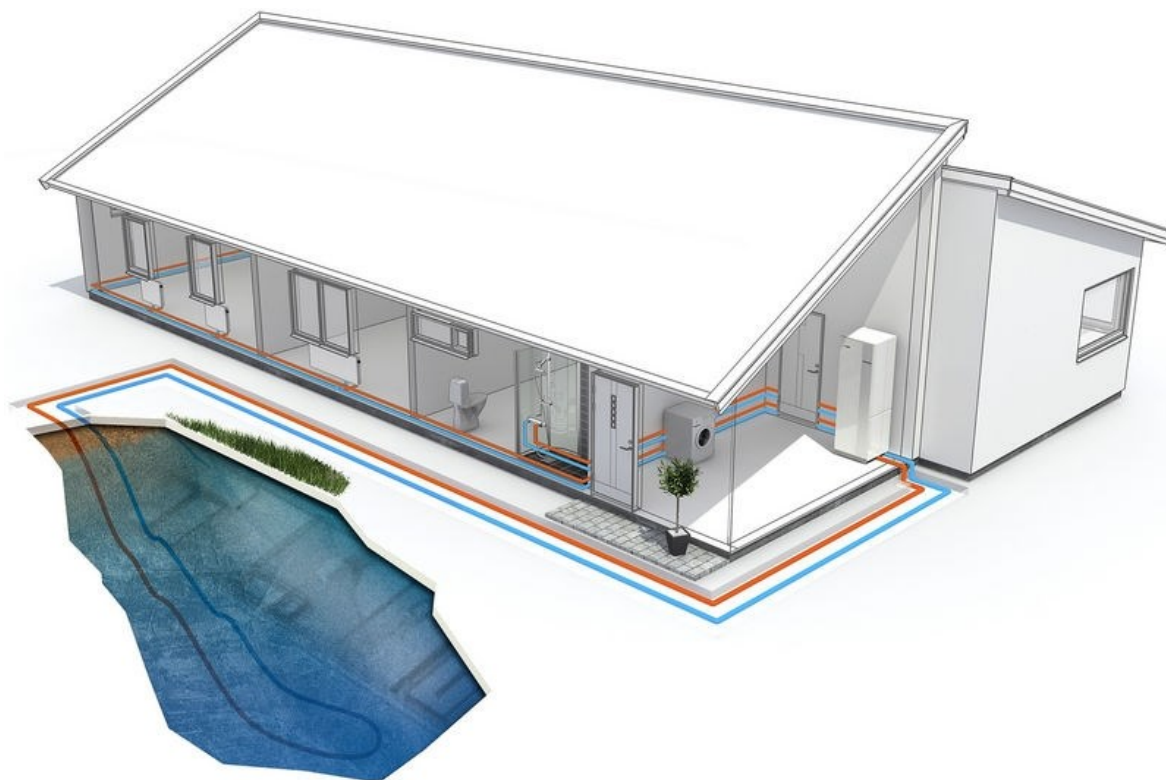
Vhodné chemické složení a teplota vody

(1)

Nutná pravidelná údržba

Nutná povolení pro provoz

Možnost vyčerpání studny



Obrázek 6: TČ voda - voda s odběrem z povrchové vody

Zdroj: <http://www.nibe.cz/cs/grafika>

3.5 Vzduch - vzduch

Tepelná čerpadla typu vzduch-vzduch pracují na stejném principu jako typ vzduch-voda. Rozdíl u tohoto typu je v médiu, kterému tepelné čerpadlo vzduch předává. V tomto případě se teplo předává vnitřnímu vzduchu objektu a vytápění tedy nazýváme teplovzdušné. Častěji než přímo pro vytápění se tyto tepelná čerpadla využívají pro temperaci objektu po většinu topné sezóny. Rozvod tepla do ostatních místností je možný pouze samotnou cirkulací vzduchu v objektu, což je mnohdy nedostačující. Využití tohoto tepelného čerpadla je spíše pro malé byty nebo jednotlivé místnosti, jelikož vyrobené teplo se nejvíce drží v místnosti, kde je tepelné čerpadlo nainstalováno.

(1)

3.6 Tepelná čerpadla s přímým odběrem tepla

Tepelné čerpadlo s přímým odběrem tepla je v podstatě tepelné čerpadlo typu země – voda. U běžného typu je náplní zemního kolektoru nemrznoucí směs, která proudí přes

deskový výměník tepla – výparník, kde se předává teplo vnitřnímu chladicímu okruhu. Oběh nemrznoucí směsi je nucený a je k němu zapotřebí oběhového čerpadla.

V zemním kolektoru tepelného čerpadla s přímým odběrem proudí přímo chladivo, které odebírá teplo zemi. Oběh chladiva je poháněn přímo kompresorem a tím odpadá pohon oběhového čerpadla primárního okruhu. Zařízení se dodává včetně primární strany, která je už naplněná chladivem. Díky většímu objemu chladiva a vyšším tlakovým ztrátám v okruhu se používá jiný typ kompresoru, než u běžných tepelných čerpadel.

Velikost a uložení primární strany je odlišné ve srovnání s klasickými tepelnými čerpadly s nemrznoucí směsí. Tím, že v kolektoru cirkuluje přímo chladivo, které má podstatně nižší teplotu než používaná nemrznoucí směs u běžných tepelných čerpadel, je odnímání tepelné energie půdě, v níž je umístěn často měděný kolektor intenzivnější a prostorové nároky na jeho uložení ať horizontální, tak vertikální jsou nižší a s tím souvisí i nižší náklady na potřebné zemní práce.

Vzhledem k velmi nízké teplotě chladiva v kolektoru je zcela běžné, že dochází v průběhu chodu tohoto typu tepelného čerpadla k značnému podchlazování půdy, někdy až vzniku ledového obalu kolem jímacích trubek. Proto je nutno počítat s tím, že mimo topnou sezónu je potřeba ponechat okolí kolektoru regenerovat, aby se obnovila teplota v půdě během léta před topnou sezónou. Z tohoto důvodu se také horizontálně nekladou hlouběji než 1m pod povrch, aby přívod tepla od slunce a dešťové vody urychlil obnovení před topnou sezónou.

Výhody:

- Jednoduchá a rychlá instalace
- Menší nároky na prostorové uložení = nižší cena za výkopové práce

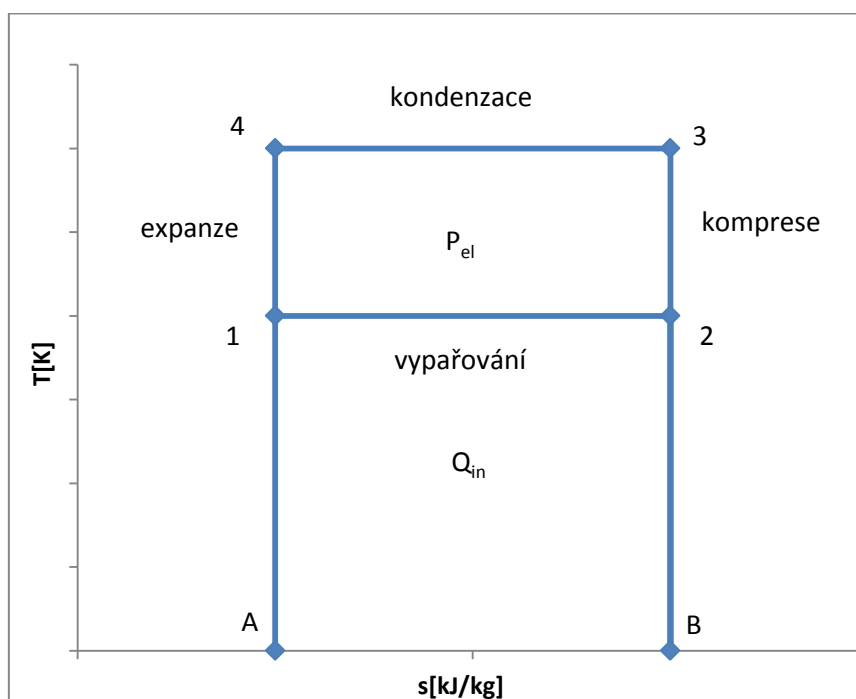
Nevýhody:

- Mechanické poškození kolektoru
- Regenerace půdy v okolí kolektoru, tedy provoz pouze v topné sezóně
- Absence ohřevu vody mimo topnou sezónu

4 Teorie tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo teoreticky pracuje podle známého Carnotova cyklu. Carnotův cyklus je ideální oběh s nejvyšší účinností mezi dvěma teplotami. Maximální účinnost tohoto oběhu závisí jen na teplotě a nezávisí na pracovní látce.

V grafu můžeme vidět oblast ohraničenou body [1, 2, 3, 4], která představuje energii dodanou do zařízení, tedy spotřebu elektrické energie kompresoru. Spodní oblast ohraničená body [A, B, 1, 2] označuje energii získanou z venkovního vzduchu. Mezi body 1-2 probíhá, mezi body 2-3 probíhá, mezi body 3-4 probíhá a mezi body 4-1 probíhá.



Obrázek 7: teoretické termodynamické změny v oběhu TČ

T – teplota [K]

S – entropie [kJ/kg]

P_{el} – energie dodaná ze sítě pro pohon kompresoru

Q_{in} – energie získaná z okolního vzduchu

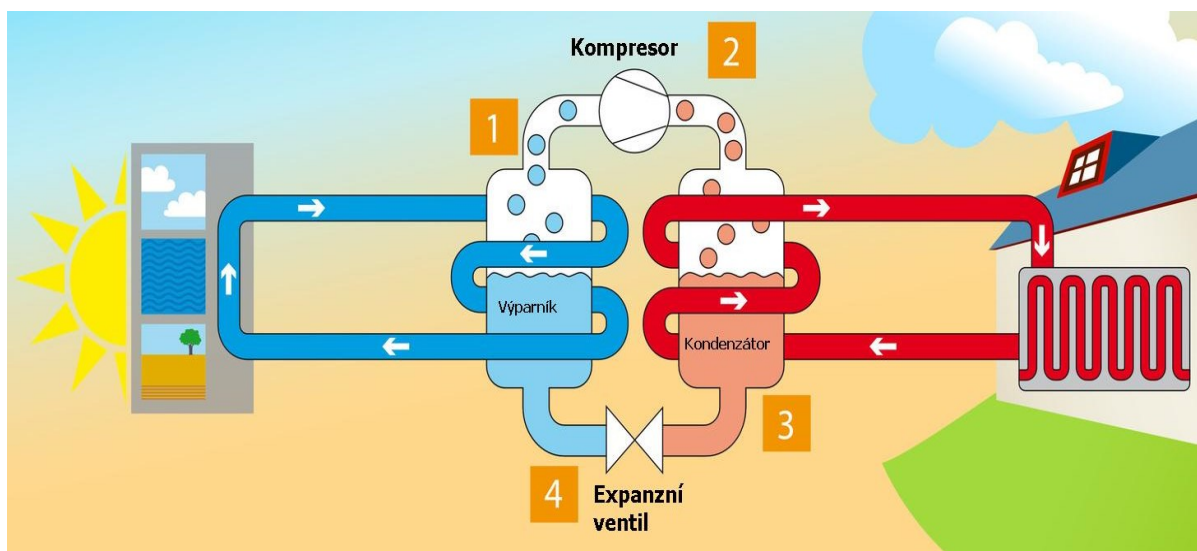
4.1 Části tepelného čerpadla

Kompresor – Stlačuje látku (plyn) a zvyšuje jeho teplotu a tlak, zároveň zajišťuje oběh média vnitřního okruhu tepelného čerpadla.

Výparník – slouží jako výměník tepla mezi vnitřním médiem tepelného čerpadla a venkovním vzduchem, ze kterého získává nízkopotenciální energii.

Kondenzátor – výměník tepla mezi topným okruhem a primárním okruhem tepelného čerpadla.

Expanzní ventil – po zkondenzování média snižuje škrtící ventil tlak média na jeho původní.



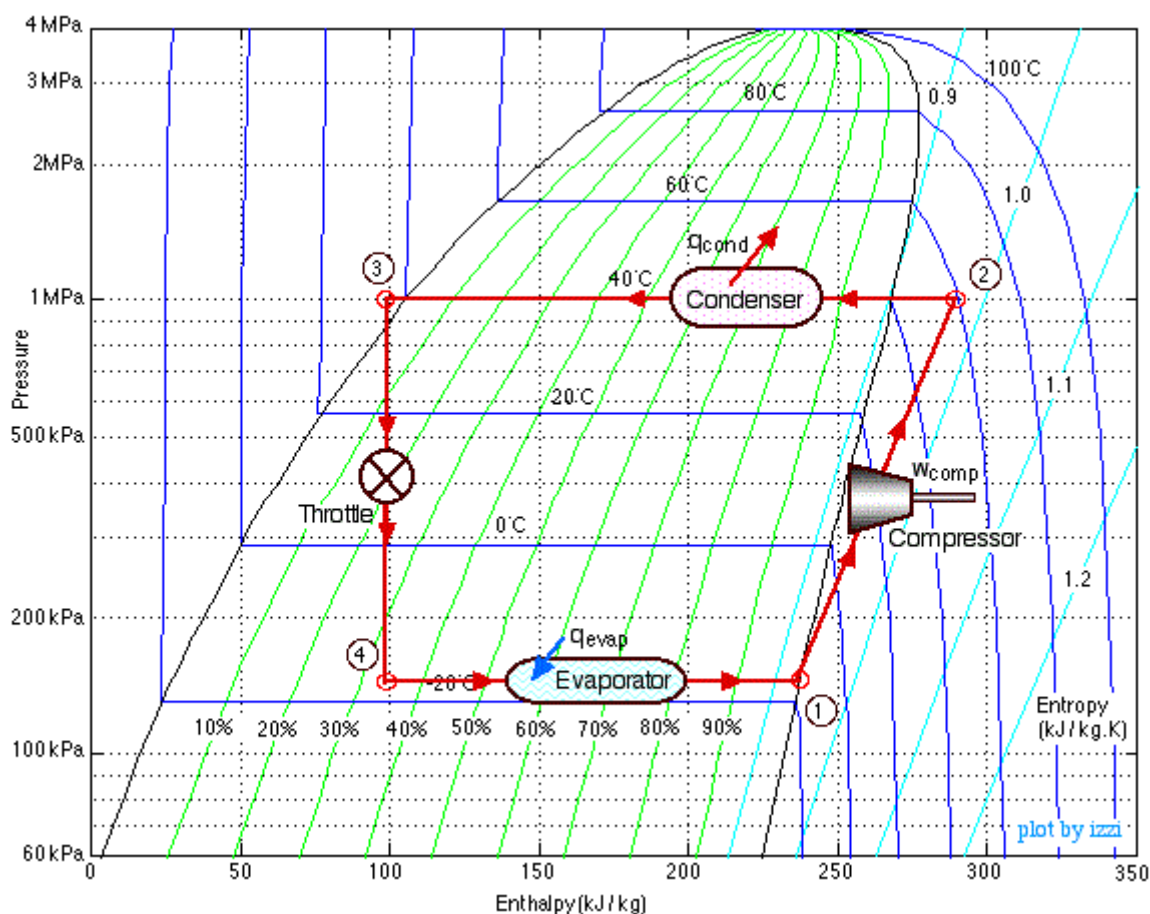
Obrázek 8: Výměna tepla v TČ

Zdroj: <http://www.gemtec.cz/cerpadlo/>

4.2 Termodynamické změny v oběhu TČ

Skutečné termodynamické změny chladiva v oběhu tepelného čerpadla jsou znázorněny v grafu č. 1. Změny se znázorňují v diagramu tlak - entalpie ($p[\text{Pa}] - h[\text{J/kg}]$).

- 5-1 vypařování pracovní látky při konstantním tlaku p_0 a teplotě T_0
- 1-2 izentropická komprese pracovního média (plynu) z tlaku P_1 na P_2
- 2-3 kondenzace nasycených par při konstantním tlaku p_k a teplotě T_k
- 3-4 izoentalpická expanze pracovní látky



Graf 1: Skutečné termodynamické změny v oběhu TČ

Zdroj: http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapt.1_6/refrigerator/refrig_problems.html

4.3 Objem vzduchu pro vytápění

Tepelné čerpadlo typu vzduch - voda potřebuje nejprve na primární straně okruhu získat nízkopotenciální teplo z venkovního vzduchu. Pro dosažení správného výkonu musíme na výparník tepelného čerpadla přivést dostatečné množství vzduchu. Z toho plyne, že výkonu TČ musí odpovídat správná velikost a množství ventilátorů. Regulace množství vzduchu je prováděna automatickým řízením otáček ventilátorů v závislosti na teplotě topného média.

Následující výpočet demonstruje množství vzduchu protékajícího tepelným čerpadlem. Jelikož s měnící se venkovní teplotou se mění i topný výkon TČ, je odlišná i spotřeba vzduchu v závislosti na venkovní teplotě. Pro zjednodušení výpočtu použijí základní parametry vzduchu, které jsou udávány fyzikálními tabulkami při 0[°C]. Jde tedy pouze o informativní výpočet.

Parametry vzduchu závislé na teplotě:

- Hustota vzduchu
- Objem vzduchu

- Zbylé veličiny pro výpočet:

- Průměr ventilátoru [m]
- Plocha ventilátoru [m²]
- Teplotní rozdíl vzduchu [°C]
- Měrná tepelná kapacita [kJ(kg.K)⁻¹]

- Výpočet provedu z rovnice tepelného toku, kde získáme hmotnostní tok proudícího vzduchu za sekundu.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c \cdot \Delta t}$$

- Z rovnice pro hustotu vypočítáme objemový tok za sekundu a to tak, že tepelný tok vydělíme hustotou vzduchu v příslušící teplotě.

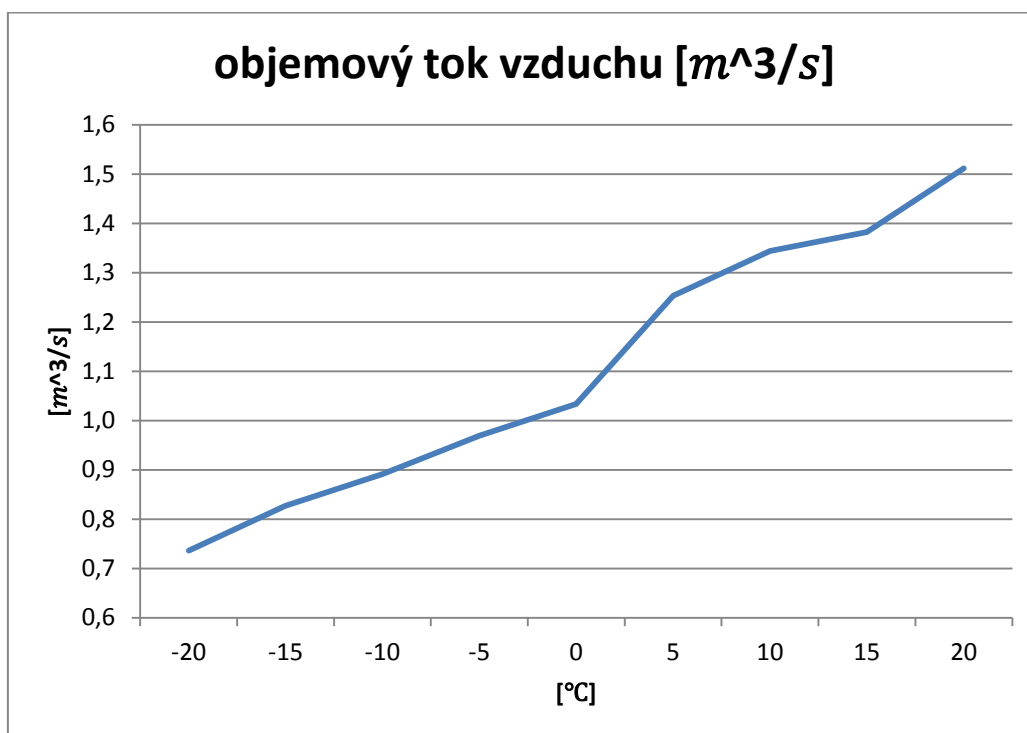
$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} [m^3 \cdot s^{-1}]$$

- V posledním kroku zbývá určit rychlost vzduchu. Rychlost vzduchu vypočítáme z objemového toku, který vydělíme plochou ventilátoru.

$$v = \frac{\dot{V}}{S_v} [m \cdot s^{-1}]$$

teplota vzduchu (C)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
hustota vzduchu (kg/m³)	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
příkon TČ (kW)	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
Výkon TČ (kW)	5,7	6,4	6,9	7,5	8	9,7	10,4	10,7	11,7
hmotnostní tok vzduchu (kg/s)	0,950	1,067	1,150	1,250	1,333	1,617	1,733	1,783	1,950
objemový tok vzduchu [m³/s]	0,736	0,827	0,891	0,969	1,034	1,253	1,344	1,382	1,512
rychlost vzduchu (m/s)	3,751	4,211	4,540	4,935	5,264	6,383	6,843	7,041	7,699

Tabulka 1: Spotřeba vzduchu TČ



Graf 2: Rychlost proudícího vzduchu v závislosti na venkovní teplotě

5 Návrh tepelného čerpadla

Cena investice, stavební možnosti pozemku, které nedovolovaly pokládat zemní kolektor ani vrtat hlubinné vrty, jednoduchá instalace, snadné připojení k topnému systému a poměrně dobrý topný faktor rozhodl o použití tepelného čerpadla typu vzduch - voda, typ NIBE F2030-9. Systém bude využívat akumulční nádrž pro topnou vodu, kombinovaného nepřímotopného ohřívače TV a vlastního tepelného čerpadla, umístěného ve venkovním prostředí na JZ straně. Celý systém vytápění a ohřevu TV bude ovládán řídicím modulem NIBE SMO 20.

Při návrhu a dimenzování tepelného čerpadla je potřeba dbát na některá základní pravidla:

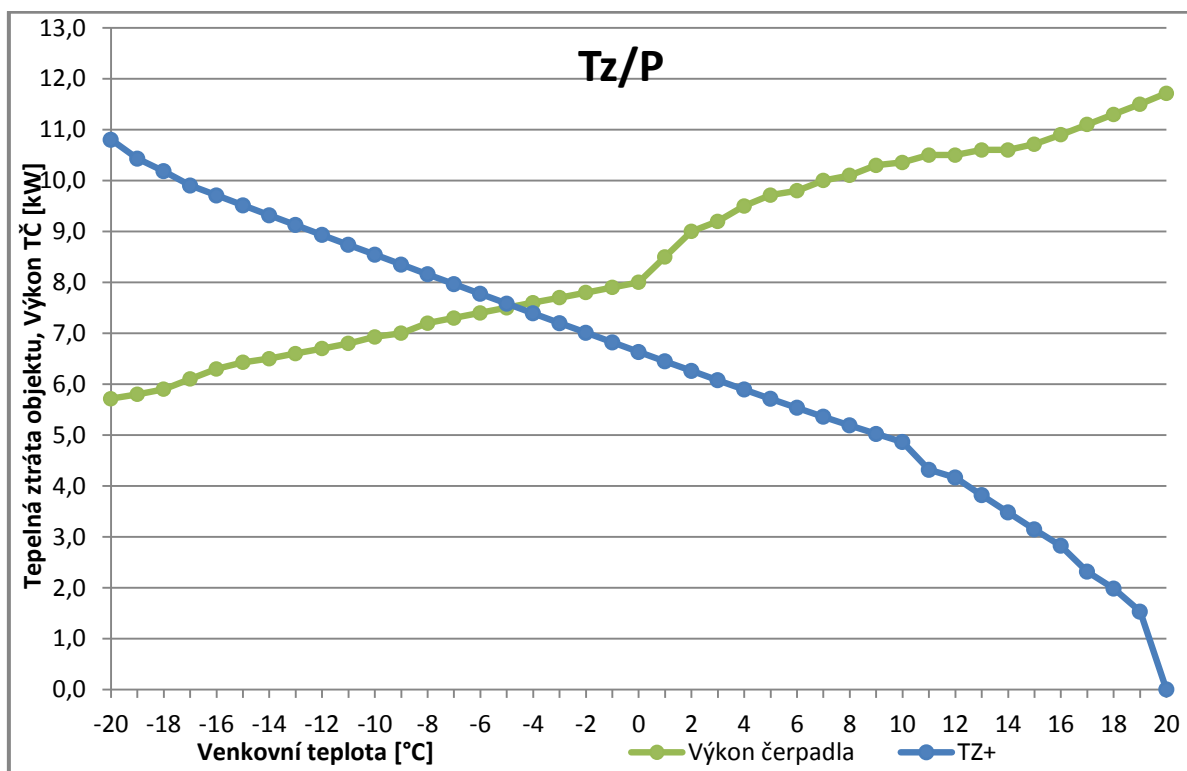
- Pro zvýšení životnosti tepelného čerpadla je nutné minimalizovat počet startů kompresoru.
- Zajistit dostatečný objem a průtok vody v topné soustavě.
- Řešit systém jako bivalentní, tedy tepelné čerpadlo + další doplňkový zdroj tepla. V tomto případě jsem použil akumulční nádrž pro topnou vodu, osazenou elektrickým topným tělesem a kombinovaný ohřívač TV s elektrickým topným tělesem.
- Poměr úspory energie je odvislý od topného faktoru, tedy od topného výkonu a jeho celkovém příkonu.
- Dostatečné pokrytí tepelné ztráty objektu pro přiznání nízké sazby elektřiny D56d pro domácnosti, minimálně 60% tepelných ztrát objektu.

(2)

5.1 Určení bodu bivalence

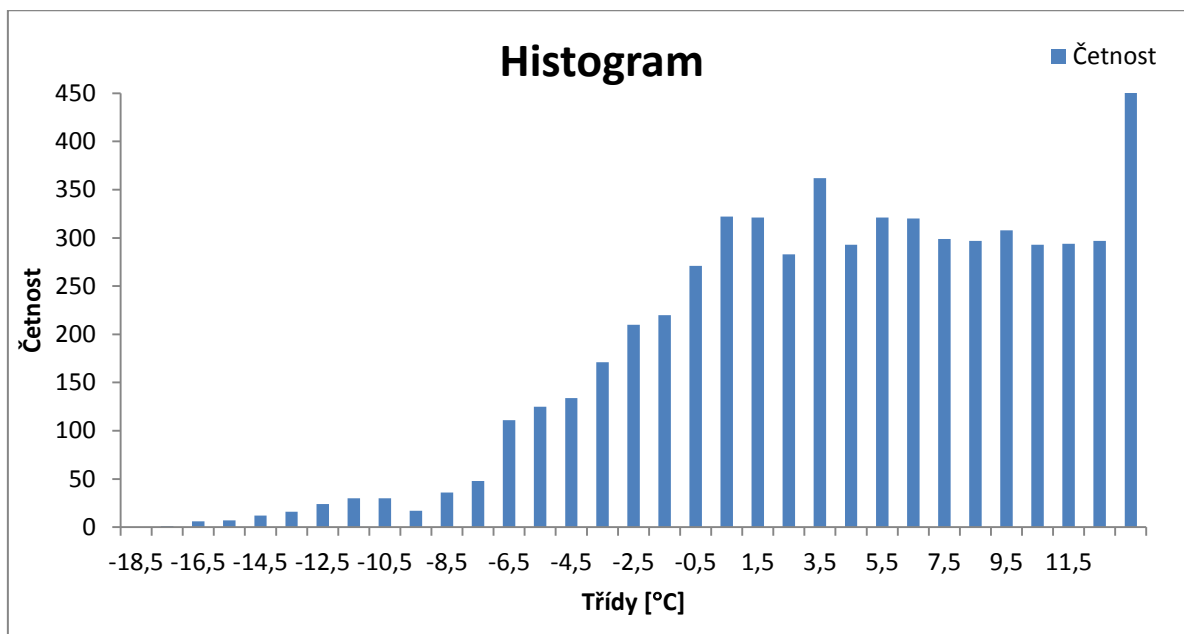
Tepelné čerpadlo typu vzduch - voda má s měnící se venkovní teplotou různý topný faktor. Proto při nízkém topném výkonu se tepelné čerpadlo nejčastěji provozuje v tzv. bivalentním provozu, což znamená, že tepelné čerpadlo doplňujeme ještě o druhý špičkový zdroj tepla. Z názvu lze zjistit, že doplňkový zdroj provozujeme pouze ve špičkách, je tedy využíván pouze v zimním období a to tehdy, kdy tepelné čerpadlo nedosahuje potřebného výkonu. Výkon tepelného čerpadla typu vzduch voda se dimenzuje cca 80% tepelných ztrát objektu. Dimenzovat tepelné čerpadlo na 100% tepelných ztrát je zbytečné a neekonomické, protože pokrytí 80% tepelných ztrát pokryje i více jak 90% dní v roce.

V bodu bivalence je tedy rovnost mezi tepelnými ztrátami a výkonem tepelného čerpadla, jak můžeme názorně vidět v grafu č.3, kde je hledaný bod průsečíkem dvou křivek.



Graf 3: Závislost tepelné ztráty na výkonu TČ

Přesná hodnota bodu bivalence odečtená z grafu je rovna při $-4,9[°C] \sim 7,55[kW]$. Protože tepelné čerpadlo má dostatečné rezervy, volím bod bivalence při $-5[°C] \sim 7,7[kW]$. Při celkové tepelné ztrátě $11[kW]$ tepelné čerpadlo pokrývá 70% a doplňkový zdroj 30% tepelných ztrát. Potřeba doplňkového zdroje je znázorněna v následujícím grafu, kde můžeme odečíst počet hodin příslušných teplot. Tedy při sečtení počtu hodin teplot od $-19[°C]$ do $-5[°C]$ dojdeme k číslu $597[hod]$, což je po zaokrouhlení 25 dní v roce.



Graf 4: Četnosti teplo v průběhu roku

5.2 Energetická bilance TČ

- Pro zjištění energetické bilance TČ jsem použil soubor hodnot, ve kterém je zaznamenána každá hodina v roce a k ní příslušná teplota. Ze souboru hodnot jsem nejprve udělal třídy četnosti v rozmezí teplot od $-19[^\circ\text{C}]$ do $13[^\circ\text{C}]$, což považuji za rozmezí, kde bude TČ pracovat. Pro každou teplotu jsem provedl výpočet dle následujícího postupu a výsledky zaznamenal do tabulky v příloze č. 2.

- Pro určení dodávky tepla, kterou zajistí bivalentní zdroj jsem v každé teplotě odečetl od tepelné ztráty objektu tu část energie, kterou pokryje TČ.

$$Q_{BZ} = Tz - Q_{TČ}$$

- Následně jsem vypočítal spotřebu el. energie, kterou musíme během roku dodat oběma zdrojům. Pro tento výpočet uvažuji, že bivalentní zdroj spotřebuje přesně tolik el. energie, kolik vyrobí v podobě tepla. Dále jsem provedl součet příkonů obou zdrojů a vynásobil četností příslušné teploty.

$$Q_{BZ} = P_{BZ}$$

$$P_{el} = \check{c}_h \cdot (P_{TČ} + P_{BZ})$$

- V poslední řadě jsem vypočítal množství tepelné energie dodané a to tak, že jsem sečetl výkon TČ s výkonem bivalentního zdroje a obě tyto hodnoty vynásobil četností příslušné teploty.

$$Q_D = \check{c}_h \cdot (Q_{T\check{C}} + Q_{BZ})$$

- Pro přehlednost celoroční bilance jsem vypočtené hodnoty sečetl dle následujících vzorců.

$$Q_{DBZ} = \sum Q_{BZ}$$

$$Q_{CP_{el}} = \sum P_{el}$$

$$Q_{CD} = \sum Q_D$$

5.3 Systém topného okruhu

Topný okruh je v zásadě tvořen pouze čtyřmi součástmi: venkovní jednotkou tepelného čerpadla, akumulční nádrží s možností elektrického ohřevu topné vody, kombinovaným ohřívacem TV, taktéž s možností elektrického ohřevu a řídicí jednotkou. Řídicí jednotka spíná tepelné čerpadlo podle potřeby ohřívání teplé vody nebo vytápění. Přepínání je zajištěno pomocí 3-cestného ventilu. Teplota topné vody je řízena ekvitermě podle venkovní teploty. Přídavný elektrický ohřev je připojen automaticky v případě, že tepelné čerpadlo již není svým výkonem schopno pokrýt požadavek na teplo. Totéž platí i pro ohřev TV. Správnou funkci regulace tepelného čerpadla a ekonomický chod zajišťují snímače teplot na vstupu a výstupu z tepelného čerpadla, na vstupu a výstupu do topného systému, venkovní a prostorové teploty a snímač teploty TV. Plnicí oběhové čerpadlo tepelného čerpadla má za úkol dopravit topné médium do akumulční nádrže a přes trojcestný ventil i do ohříváče TV. Plnicí oběhové čerpadlo topného okruhu zajišťuje dopravu topného média z akumulční nádrže do systému podlahového vytápění a směřováním trojcestného ventilu řídí ekvitermní vytápění objektu v závislosti na venkovní teplotě. Systém je dále doplněn o uzavírací ventily na výstupním a vratném potrubí z tepelného čerpadla, uzavírací a vypouštěcí ventil topného okruhu. Bezpečnost zajišťuje pojistný ventil topného systému a tepelného čerpadla a expanzní nádoba.

5.3.1 Tepelné čerpadlo

Jak již bylo zmíněno, TČ odebírá venkovnímu vzduchu nízkopotenciální teplo a přeměňuje ho na vyšší úroveň. Pro správnou instalaci, bezproblémový chod a splnění hygienické podmínky musíme dodržet některá základní pravidla:

- TČ umístíme vždy na pevnou vodorovnou základní desku, nejčastěji betonový základ a to tak, že spodní okraj výparníku musí být minimálně 30[cm] nad zemí

nebo ve výšce průměrné výšky sněhové pokrývky. Hrozí-li riziko padání sněhu ze střechy, musí být dostavěna ochranná stříška minimálně 1[m] nad TČ.

- Z hygienického hlediska musíme dbát na hluk vyprodukovaný TČ. Proto je nežádoucí, aby TČ bylo umístěno blízko oknům ložnic a to i ze sousedova pohledu.
- Při umístění musíme stejně tak dbát na to, aby při nasávání vzduchu TČ nedošlo k cirkulaci a TČ tak nenasávalo již ochlazený vzduch. Mohlo by dojít ke snížení topného výkonu.
- Při provozu vzniká velké množství kondenzační vody, která musí být odváděna do kanalizace či trativodu, aby v zimním období se tato voda nehromadila pod TČ a nevznikalo velké množství ledu.

(3)

Připojení k topnému systému

- Pro připojení do topného systému je potřeba k TČ přivést potrubí topného okruhu. Jelikož je toto potrubí s topnou vodou vyvedeno přes zeď ven, je nutné ho opatřit tepelnou izolací s minimální tloušťkou stěny 19[mm] nebo topným kabelem, aby nedošlo k jeho zamrznutí.
- TČ není vybaveno externími uzavíracími ventily na straně vody, tyto ventily se doporučuje nainstalovat, aby se v budoucnu usnadnil servis. Z důvodu možnosti zamrznutí není v TČ nainstalována ani expanzní nádoba topného okruhu, pro bezproblémovou funkčnost okruhu je potřeba nádobu dodat.
- V potrubním systému ač v topném okruhu nebo ohřevu TV musí být zaručen dostatečný průtok a objem topné vody. Příručka říká, že na každý kW výkonu TČ je potřeba minimálně 20 litrů vody. V zapojení pro tento dům dostatečný objem zajišťuje kombinovaný ohřívač vody na straně TV a akumulární nádrž na straně vytápění.

5.3.2 Akumulační nádrž

- Pro tento objekt jsem zvolil zapojení s akumulární nádrží. Toto zapojení není nutné, ovšem doporučuje se, jelikož díky akumulaci dostatku teplé vody snižuje zapínací cykly TČ.

- V topném systému jsem použil akumulční nádrž z výrobního závodu Dražice, typ NAD250-V1. K akumulční nádrži je jako bivalentní zdroj připojeno topné těleso a nádrž tak možno využívat jako elektrokotel.

5.3.3 Ohřev TV

- Tepelná čerpadla slouží nejen jako zdroj tepla pro vytápění, ale také jako zdroj tepla pro ohřev TV. Velikost bojleru záleží na počtu lidí v domácnosti a jejich spotřebě vody. Do tohoto objektu jsem zvolil ohříváč typu OKC 200 NTR/Z. Zvolil jsem běžnou spotřebu 50 [l/(os.den)], tedy pro čtyřčlennou rodinu je potřeba použít bojler o obsahu 200[l]. Bojler je také opatřen topným tělesem. V případě nedostatku výkonu TČ můžeme vodu dohřát elektrickým topným tělesem.

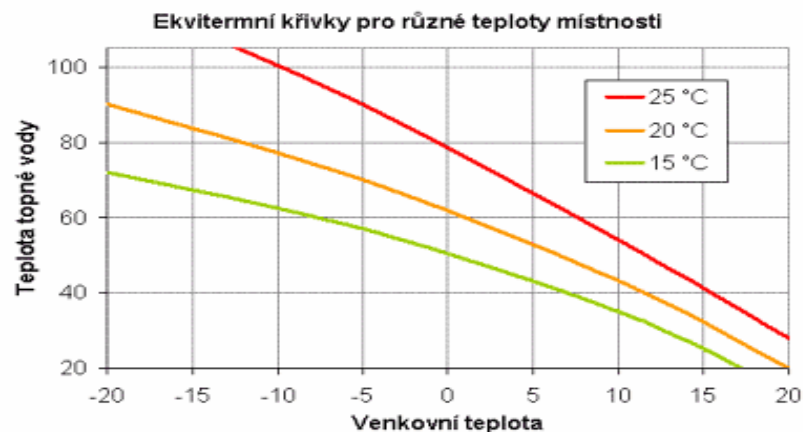
(3)

5.3.4 Regulace

Velmi důležitou částí topného okruhu je regulace. Samotnou regulací a jejím správným nastavením je možné dosáhnout snížení spotřeby. Do topného systému jsem vybral řídicí modul NIBE SMO 20. Tento modul je vybaven řídicím systémem pro řízení všech funkcí souvisejících s ovládáním jednoho topného okruhu a ohřevu TV. Dále spíná tepelné čerpadlo podle aktuální potřeby tepla a v případě potřeby připíná elektrokotel nebo jiný přídatný zdroj tepla. Tento modul má mnoho dalších funkcí, například:

- Řízení jednoho tepelného čerpadla vzduch-voda
- Ekvitermní řízení jednoho topného okruhu
- Možnost připojení pokojového čidla teploty a jeho využití po řízení teploty prostoru
- Řízení dalšího zdroje tepla (elektrokotle) ve třech stupních (různý výkon na každém stupni)
- Řízení ohřevu TV
- Možnost řízení otáček úsporného oběhového čerpadla

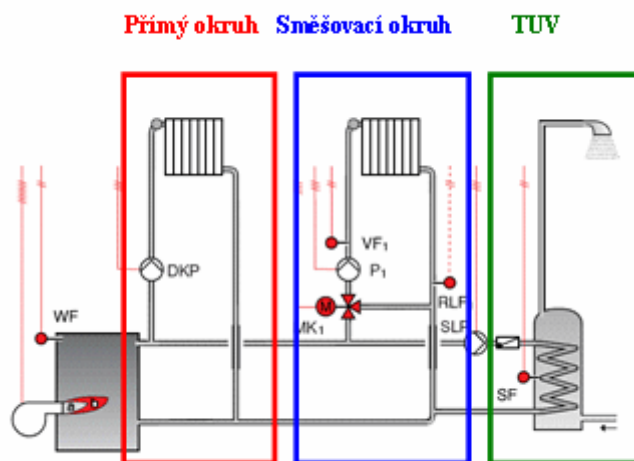
Jak již bylo zmíněno, řídicí modul využívá ekvitermní regulace, což zjednodušeně znamená řízení vnitřní a venkovní teploty v závislosti na ekvitermní křivce. Řídicí modul využívá přednastavené ekvitermní křivky, přičemž pro danou teplotu místnosti nejlépe odpovídá některá z přednastavených křivek. Modul s pomocí venkovního čidla změří venkovní teplotu a k této teplotě podle ekvitermní křivky nastaví ideální teplotu topné vody.



Graf 5: Průběh ekvitermní regulace

Zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermní-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>

Výstupní teplota z tepelného čerpadla je konstantní, proto je nutné ji smíchat za pomoci 3-cestného ventilu, který do topné vody přimíchá využitou topnou vodu z vratného potrubí. Řídící modul tak zajistí ideální teplotu topného okruhu, šetří počet startů tepelného čerpadla a vytváří tak úspornou regulaci systému. Schéma systému řízeného ekvitermní regulací můžeme jednoduše popsat následujícím schématem.



Obrázek 9: Regulace topného okruhu

Zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermní-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>

6 Ekonomické a environmentální zhodnocení

Investice do tepelného čerpadla je poměrně vysoká. Pouze v hrubém porovnání s plynovým kotlem je cena zdroje tepla minimálně o 200 000 Kč vyšší. Tepelné čerpadlo je ovšem daleko ekonomičtější a návratnost této investice se pohybuje okolo deseti let.

Pořizovací cena systému

Tepelné čerpadlo NIBE F2030-9	210000 Kč
Akumulační nádrž NAD 250	11 157 Kč
Ohřívač TV OKC 200NTR	12 437 Kč
Regulace NIBE SMO 20	22 000 Kč
Montáž sekundárního okruhu	19 000 Kč
Doplňující části topného okruhu	30 000 Kč
Elektroinstalace, uvedení do provozu	14 000 Kč
CELKEM	318 594 Kč

Z tabulky v příloze č. 2 můžeme vyčíst, že:

- Potřeba topit je 5479 hodiny v roce. Což představuje cca 63% z roku.
- Potřeba přehřívat vodu bivalentním zdrojem je 597 hodin v roce, což je necelých 25 dní a 6,85% z roku. Za tuto dobu bivalentní zdroj dodá 573 [kW].
- Během topné sezony TČ dodá 32 579 [kW] a spotřebuje při tom 13 220 [kW]. S těmi to hodnotami se dostáváme na celoroční průměrný topný faktor 2,46[–].
- Pro celoroční pokrytí tepelných ztrát objektu musí oba tepelné zdroje dodat 33 152 [kW]. Oba tepelné zdroje pracují s celoročním topným faktorem 2,4 [–].

Návratnost investice

Pro zjednodušení výpočtu jsem použil cenu pouze nízké sazby elektřiny. Při sazbě pro tepelné čerpadlo je nízká sazba minimálně 22 hodin, vysoká sazba je tak pouze 2 hodiny denně. Cena elektřiny od distributora ČEZ je tedy 2,36 [Kč/kW]. Cena jedné kW plynu od stejného distributora je 1,8 [Kč/kW].

- Pro zjištění návratnosti investice ve srovnání se zemním plynem jsem nejdříve vypočítal náklady na celoroční vytápění plynem a tepelným čerpadlem.

$$N_{plyn} = Q_{roční} \cdot C_{plyn} = 33\,152,2 \cdot 1,8 = 59\,674 \text{ [Kč]}$$

$$N_{TČ} = Q_{TČ} \cdot C_{TČ} = 13\,793 \cdot 2,36 = 32\,552 \text{ [Kč]}$$

- Rozdílem těchto dvou hodnot získáme roční úsporu při vytápění tepelným čerpadlem.

$$U_{roční} = N_{plyn} - N_{TČ} = 59\,674 - 32\,552 = 27\,122 \text{ [Kč]}$$

- V posledním kroku zbývá vypočítat podíl pořizovací ceny systému vytápění a roční úspory při vytápění TČ. Získáme tak návratnost investice v letech.

$$NI = \frac{PC}{U_{roční}} = \frac{318\,594}{27\,122} = 11,75 \text{ [roků]}$$

Environmentální přínos

Instalaci tepelných čerpadel snižujeme především produkci znečišťujících látek vypuštěných do ovzduší. Zemní plyn neobsahuje žádné sloučeniny dusíku. Spalováním zemního plynu produkujeme pouze tzv. termické oxidy dusíku a vzhledem k dobrému promísení se vzduchem obsahují spaliny zemního plynu jen nepatrné množství CO. Dobrou zprávou je, že každým rokem se počet instalací tepelných čerpadel jak u nás, tak v zahraničí zvyšuje. To je umožněno zlepšujícími technologiemi, které zaručují dobrý topný faktor i při nízkých teplotách a tak je rozhodování investice pro budoucího investora snadnější.

Pro porovnání najdeme v tabulce č. 2 množství vyprodukovaných TZL při vytápění plynem nebo tepelným čerpadlem.

Druh znečištění	emisní faktory zemní plyn [kg/m ³]	Roční spotřeba zemního plynu v [m ³]	Množství TZL zemní plyn [kg]	emisní faktor el. Energie [kg/GJ]	Roční spotřeba el. Energie v [GJ]	Množství TZL el. Energie [kg]
TL	0,00002	3157,810	0,063156	0,02591	49,655	1,2865611
SO ₂	0,0000096		0,030315	0,489376		24,299965
Nox	0,0013		4,105152	0,415698		20,641484
CO	0,00032		1,010499	0,0393		1,9514415
Org. Látky	0,000064		0,2021	0,03086		1,5323533
CO ₂	1,887		5960	325		16137,875

Tabulka 2: množství vyprodukovaných TZL při vytápění plynem nebo TČ

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vytápění rodinného domu pomocí tepelného čerpadla.

Pro správný návrh takového systému je v první řadě potřeba znát tepelné ztráty zadaného domu. Pro výpočet je nutné mít výkresovou dokumentaci domu nebo znát rozměry její venkovní konstrukce, skladbu zdi a jejich součinitele všech ochlazovaných konstrukcí. Výpočet jsem provedl obálkovou metodou podle normy ČSN 06 0210. Z důvodů snadné instalace a absence venkovního kolektoru jsem se rozhodl pro tepelné čerpadlo typu vzduch – voda, typ NIBE F2030. Aby investice do systému vytápění byla ekonomicky výhodná, pracuje tepelné čerpadlo v bivalentním provozu. Bivalentní bod po protnutí výkonové křivky tepelného čerpadla a tepelné ztrátě domu vyšel při $-5\text{ [}^{\circ}\text{C]}$. Do systému vytápění jsem navrhl spolu s tepelným čerpadlem i akumulární nádrž a doplňkový ohřívač vody. Systém řídí regulační jednotka SMO 20.

Celý systém pracuje celoročně s topným faktorem $2,4 [-]$ a celkem během roku spotřebuje $33\,152\text{ [kW]}$. Samostatné tepelné čerpadlo pracuje s celoročním topným faktorem $2,46 [-]$. Investice $318\,594\text{ Kč}$ do systému vytápění nám tak může každoročně ušetřit až $27\,000\text{ Kč}$. Pokud budeme tento systém srovnávat s plynovým vytápěním, doba návratnosti vychází na 11,75 let.

V současné době je však možno ze státního fondu obdržet dotaci, která může pro investora znamenat podporu až $100\,000\text{ Kč}$. S touto podporou tak můžeme mít ekologický, ekonomicky výhodný a poměrně bezúdržbový systém vytápění s dobou návratnosti 8 let.

8 Citovaná literatura

1. Karlík, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2009. str. 112. ISBN 978-80-247-2720-2.
2. vytápění. www.tzb-info.cz. [Online] [Citace: 13. Duben 2014.] www.tzb-info.cz. ISSN 1801-4399.
3. *Projekční podklad NIBE F2030*. [PDF] místo neznámé, Sweden : NIBE, 2013.
4. ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. místo neznámé : Český normalizační institut, 1994. MDT 697.3:662.614.442.
5. ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. místo neznámé : Český normalizační institut, 1993. MDT 699.86.001.4.
6. Kadlec, Zdeněk. *termomechanika*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001. str. 97.
7. NIBE. www.nibe.cz. [Online] [Citace: 7. Květen 2014.]
8. *Dražice*. www.dzd.cz [Online] [Citace: 7. Květen 2014.]

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázek 1: Skladba tepelných odporů při prostupu tepla zdí.....	15
Obrázek 2: TČ vzduch – voda	19
Obrázek 3: TČ země – voda s horizontálním kolektorem	21
Obrázek 4: TČ země - voda s vertikálním kolektorem.....	22
Obrázek 5: TČ voda - voda s odběrem podzemní vody	23
Obrázek 6: TČ voda - voda s odběrem z povrchové vody.....	24
Obrázek 7: teoretické termodynamické změny v oběhu TČ.....	26
Obrázek 8: Výměna tepla v TČ	27
Obrázek 9: Regulace topného okruhu.....	37
Graf 1: Skutečné termodynamické změny v oběhu TČ.....	28
Graf 2: Rychlost proudícího vzduchu v závislosti na venkovní teplotě	30
Graf 3: Závislost tepelné ztráty na výkonu TČ.....	32
Graf 4: Četnosti teplo v průběhu roku	33
Graf 5: Průběh ekvitermní regulace.....	37
Tabulka 1: Spotřeba vzduchu TČ	29
Tabulka 2: množství vyprodukovaných TZL při vytápění plynem nebo TČ	39
příloha 1: Tabulka výsledných hodnot tepelných ztrát	
příloha 2: tabulka výsledných hodnot spotřeb a výkonu topného zařízení	
příloha 3: schéma přízemí	
příloha 4: schéma 1. Patro	
příloha 5: seznam místností	
příloha 6: schéma topného okruhu	
příloha 7: seznam součástí	

příloha 1: Tabulka výsledných hodnot tepelných ztrát

1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24		
																		ztráty		Celková ztráta místnosti			
Rozměry						součinitele prostupu			Základní tepelná ztráta						Přirážky								
Místnost		Tloušťka stěny	Délka	Šířka nebo výška	Plocha stěny	Plocha stropu	Plocha oken	Součinitel prostupu tepla			Rozdíl teplot	k at		zdi	stropu		oken	Na vyrovnání vlivu chladných stěn	Na urychlení zátoku	Na světovou stranu	1 +p1+p2+p3		
		m	m	m	m ²		Wm ⁻² K ⁻¹			K	Wm ⁻²	W			p1	p2	p3	W					
101	0,52	9,7	2,5	24,18	21,62	1,2	0,413	0,75	3	40	16,54	400	303	144	0,131	0	0	1,131	958	390	1348		
102	0,52	8,2	2,5	20,54	15,18	1	0,413	0,75	3	40	16,54	340	213	120	0,122	0	-0,05	1,072	722	274	996		
103	0,52	0,9	2,5	2,34	1,26	0,2	0,413	0,75	3	40	16,54	39	18	24	0,128	0	0,05	1,178	95	23	118		
104	0,52	2,1	2,5	5,2	13,6	2	0,413	0,75	3	40	16,54	86	190	240	0,373	0	0,1	1,473	761	246	1007		
105	0,52	2,7	2,5	6,76	9,36	0	0,413	0,75	3	40	16,54	112	131	0	0,135	0	0,05	1,185	288	169	457		
106	0,52	5,84	2,5	14,56	10,1	1	0,413	0,75	3	40	16,54	241	142	120	0,13	0	0,05	1,18	593	182	775		
201	0,52	8,1	2,3	18,7	18	2,45	0,413	0,75	3	40	16,54	310	253	294	0,172	0	-0,05	1,122	960	732	1692		
202	0,52	8,1	2,3	18,7	18	2	0,413	0,75	3	40	16,54	310	253	240	0,161	0	-0,05	1,111	890	286	1176		
203	0,52	3,8	2,3	8,7	4,2	0,7	0,413	0,75	3	40	16,54	144	59	84	0,124	0	0	1,124	322	67	389		
204	0,52	2	2,3	4,64	2,1	0,2	0,413	0,75	3	40	16,54	77	30	24	0,105	0	0,05	1,155	150	33	183		
205	0,52	5,6	2,3	12,8	13,6	0,7	0,413	0,75	3	40	16,54	212	191	84	0,143	0	0	1,143	556	216	772		
206	0,52	2,5	2,5	6,24	6,72	0,2	0,413	0,75	3	40	16,54	103	94	24	0,134	0	0,05	1,184	262	107	369		
207	0,52	6,2	2,5	15,6	12	1	0,413	0,75	3	40	16,54	258	168	120	0,131	0	0,05	1,181	645	191	836		
Celková tepelná ztráta domu																		10 118 kW					

příloha 2: tabulka výsledných hodnot spotřeb a výkonu topného zařízení

průměrná teplota	třídy teplot		Počet hodin čistosti	tepelná ztráta	výkon TČ	příkon TČ	dodávka tepla BZ	el. Příkon	dodané teplo
	[C]		[h]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW.hod]	[kW.hod]
-19	-18,5	-18,5	0	10,432	5,8	2,28	4,632	0	0,0
-18	-17,5	-17,5	1	10,183	5,9	2,29	4,283	6,573	10,2
-17	-16,5	-16,5	6	9,903	6,1	2,31	3,803	36,678	59,4
-16	-15,5	-15,5	7	9,708	6,3	2,33	3,408	40,166	68,0
-15	-14,5	-14,5	12	9,513	6,4	2,35	3,113	65,556	114,2
-14	-13,5	-13,5	16	9,319	6,5	2,36	2,819	82,864	149,1
-13	-12,5	-12,5	24	9,125	6,6	2,37	2,525	117,48	219,0
-12	-11,5	-11,5	30	8,931	6,7	2,38	2,231	138,33	267,9
-11	-10,5	-10,5	30	8,737	6,8	2,39	1,937	129,81	262,1
-10	-9,5	-9,5	17	8,543	6,9	2,4	1,643	68,731	145,2
-9	-8,5	-8,5	36	8,35	7	2,41	1,35	135,36	300,6
-8	-7,5	-7,5	48	8,157	7,2	2,42	0,957	162,096	391,5
-7	-6,5	-6,5	111	7,965	7,3	2,43	0,665	343,545	884,1
-6	-5,5	-5,5	125	7,773	7,4	2,44	0,373	351,625	971,6
-5	-4,5	-4,5	134	7,581	7,5	2,45	0,081	339,154	1015,9
-4	-3,5	-3,5	171	7,39	7,6	2,46	0	420,66	1263,7
-3	-2,5	-2,5	210	7,2	7,7	2,48	0	520,8	1512,0
-2	-1,5	-1,5	220	7,01	7,8	2,49	0	547,8	1542,2
-1	-0,5	-0,5	271	6,821	7,9	2,51	0	680,21	1848,5
0	0,5	0,5	322	6,633	8	2,53	0	814,66	2135,8
1	1,5	1,5	321	6,446	8,5	2,52	0	808,92	2069,2
2	2,5	2,5	283	6,26	9	2,5	0	707,5	1771,6
3	3,5	3,5	362	6,076	9,2	2,45	0	886,9	2199,5
4	4,5	4,5	293	5,893	9,5	2,39	0	700,27	1726,6
5	5,5	5,5	321	5,712	9,7	2,35	0	754,35	1833,6
6	6,5	6,5	320	5,534	9,8	2,34	0	748,8	1770,9
7	7,5	7,5	299	5,359	10	2,31	0	690,69	1602,3
8	8,5	8,5	297	5,188	10,1	2,32	0	689,04	1540,8
9	9,5	9,5	308	5,021	10,3	2,33	0	717,64	1546,5
10	10,5	10,5	293	4,861	10,4	2,35	0	688,55	1424,3
11	11,5	11,5	294	4,317	10,5	2,36	0	693,84	1269,2
12	12,5	12,5	297	4,164	10,5	2,37	0	703,89	1236,7
celkem [hod]				3281			572,8	13792,488	33152,2